

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ  
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

$$\Delta_{\text{дэг}} = \frac{3462,72 \cdot 98,67}{100} - \frac{3462,46 \cdot 94,54}{100} = 143,2561 \text{ кг/ч}$$

Путём добавления абсорбента в систему достигается концентрации ДЭГа 99,2% масс. и расхода 3472 кг/ч на входе в абсорбер. Так как увеличивается концентрация и расход РДЭГа, то происходит экономия добавочного абсорбента, в случае атмосферной ректификации: расход составляет 10,23 кг/ч, а при вакуумной ректификации – 9,95 кг/ч. То есть экономия составляет 0,28 кг абсорбента в час или 2419,2 кг/год. Также отмечается уменьшение капельного уноса гликоля в процессе десорбции. Унос уменьшается на 1,09 г/ч или на 33,2 %. То есть экономия от сокращения уноса в год составляет 9,42 кг/год.

Общая экономия абсорбента. Экономия чистого ДЭГа + Экономия за счёт снижения добавочного ДЭГа + Экономия за счёт снижения уноса = 143,2561 + 0,28 + 0,00109 = 143,5372 кг/ч

Следовательно, в год экономия диэтиленгликоля составляет 1240162 кг/год. Это говорит о высокой эффективности введения вакуумного метода регенерации гликоля, который оказывает существенное влияние на процесс абсорбционной осушки газа в целом [4].

#### Литература

1. Journal of Separation Science // Volume 38, Issue 9 May 2015, pages 1441–1624;
2. Уэйлес С. Фазовые превращения в химической технологии. М.: Мир, 2010. 304 с.
3. Peng D.Y., Robinson D.B. A new two-constant equation of state // Ind. Eng. Chem. Fundam. 2011. 64 pages
4. Katz D.L., Firoozabadi A. Predicting phase behavior of condensate/crude oil systems using methane interaction coefficients. J. Pet. Tech. P. (November 2010). Pages 1 649 - 1 655
5. Николаев Г.И., Ханжунов Ю.М., Ухеев Г.Ж., Бадмацыренов Б.В., Ямпиллов С.С., Хараев Г.И., Хантаургаев А.Г., Полякова Л.Е. Массообменные процессы: Учебное пособие. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2005. – 238 с.

### **О ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАДАЧ ТЕРМОДИНАМИКИ И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**Ле Тхи Тху Тхуи**

Научный руководитель – профессор С.Н. Харламов

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

В настоящее время большинство математических моделей прогноза сложных процессов переноса тепла, массы и импульса в природе и технике требует использования дифференциальных уравнений.

Рассмотрим дифференциальное уравнение в частных производных второго порядка с двумя независимыми переменными, которое можно записать в следующем виде [1, 2]:

$$A(x, y)U_{xx} + 2B(x, y)U_{xy} + C(x, y)U_{yy} + a(x, y)U_x + b(x, y)U_y + c(x, y)U = f(x, y) \quad (1)$$

Подобно коническим сечениям, которые подразделяются на эллипсы, параболы и гиперболы, дифференциальное уравнение второго порядка (1) классифицируется в зависимости от знака выражения  $B^2 - AC$  [2]: если  $B^2 - AC > 0$  в некоторых точках, то уравнение относится к уравнению гиперболического типа в этих точках; если  $B^2 - AC < 0$  в некоторых точках, то уравнение относится к уравнению эллиптического типа в этих точках; если  $B^2 - AC = 0$  в некоторых точках, то уравнение относится к уравнению параболического типа в этих точках. Уравнение (1) относится к дифференциальному уравнению гиперболического типа, эллиптического типа или параболического типа в области  $\sigma$ , если оно соответственно гиперболично, эллиптически или параболично в всех точках данной области. Для приведения уравнения к каноническому виду необходимо выполнять следующие действия:

Определяем коэффициенты  $A(x, y)$ ,  $B(x, y)$ ,  $C(x, y)$ ;

Вычисляем выражение  $B^2 - AC$ ;

Определяем тип уравнения (1) в зависимости от знака выражения  $B^2 - AC$ ;

Записываем уравнение характеристик:  $A(x, y)dy^2 - 2B(x, y)dxdy + C(x, y)dx^2 = 0$ ; (2)

Решаем уравнения характеристик (2). Для этого необходимо:

5.1) разрешить уравнение (2) как квадратное уравнение относительно  $dy$ :

$$dy = \frac{B(x, y) \pm \sqrt{B^2 - AC}}{A(x, y)} dx \quad (3)$$

5.2) определить общие интегралы уравнений (3):

- для случая дифференциального уравнения гиперболического типа:  $\varphi_1(x, y) = C_1$ ,  $\psi_1(x, y) = C_2$  (4)

- для случая дифференциального уравнения параболического типа:  $\varphi_2(x, y) = C$  (5)

- для случая дифференциального уравнения эллиптического типа:  $\varphi_3(x, y) \pm i\psi_3(x, y) = C$ . (6)

Вводим новые переменные  $\xi$  и  $\eta$  в уравнение:

- для случая дифференциального уравнения гиперболического типа в качестве  $\xi$  и  $\eta$  берут общие интегралы (4), то есть:  $\xi = \varphi_1(x, y), \eta = \psi_1(x, y)$ ;

- для случая дифференциального уравнения параболического типа в качестве  $\xi$  берут общий интеграл (5), то есть  $\xi = \varphi_2(x, y)$ , в качестве  $\eta$  берут произвольную, дважды дифференцируемую функцию  $\psi_2$ , не выражающуюся через  $\varphi_2(x, y)$ , то есть  $\eta = \psi_2(x, y)$ ;

- для случая дифференциального уравнения эллиптического типа в качестве  $\xi$  и  $\eta$  берут вещественную и мнимую часть любого из общих интегралов (6):

$$\begin{aligned}\xi &= \operatorname{Re}(\varphi_3(x, y) + i\psi_3(x, y)) = \varphi_3(x, y), \\ \eta &= \operatorname{Im}(\varphi_3(x, y) + i\psi_3(x, y)) = \psi_3(x, y).\end{aligned}$$

Пересчитываем все производные, входящие в уравнение (1), используя следующие правила дифференцирования сложной функции:

$$\begin{aligned}U(\xi(x, y), \eta(x, y)), \quad U_x &= U_\xi \cdot \xi_x + U_\eta \cdot \eta_x, \quad U_y = U_\xi \cdot \xi_y + U_\eta \cdot \eta_y, \\ U_{xx} &= U_{\xi\xi} \cdot (\xi_x)^2 + 2U_{\xi\eta} \cdot \xi_x \eta_x + U_{\eta\eta} \cdot (\eta_x)^2 + U_\xi \cdot \xi_{xx} + U_\eta \cdot \eta_{xx} \\ U_{yy} &= U_{\xi\xi} \cdot (\xi_y)^2 + 2U_{\xi\eta} \cdot \xi_y \eta_y + U_{\eta\eta} \cdot (\eta_y)^2 + U_\xi \cdot \xi_{yy} + U_\eta \cdot \eta_{yy}, \\ U_{xy} &= U_{\xi\xi} \cdot \xi_x \xi_y + U_{\xi\eta} \cdot (\xi_x \eta_y + \xi_y \eta_x) + U_{\eta\eta} \cdot \eta_x \eta_y + U_\xi \cdot \xi_{xy} + U_\eta \cdot \eta_{xy}.\end{aligned}\quad (7)$$

Подставляем найденные производные из (7) в исходное уравнение (1) и приводим подобные слагаемые. В итоге уравнение (1) примет один из следующих видов:

- для случая дифференциального уравнения гиперболического типа:  $U_{\xi\eta} + F_1(U_\xi, U_\eta, U, \xi, \eta) = 0$ ;
- для случая дифференциального уравнения параболического типа:  $U_{\eta\eta} + F_1(U_\xi, U_\eta, U, \xi, \eta) = 0$ ;
- для случая дифференциального уравнения эллиптического типа:  $U_{\xi\xi} + U_{\eta\eta} + F_1(U_\xi, U_\eta, U, \xi, \eta) = 0$ .

В качестве примера дифференциального уравнения с частными производными второго порядка параболического типа рассмотрим уравнение теплопроводности, имеющее вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c\rho},$$

где  $q_v$  – мощность внутренних объемных источников в теле, Вт;  $c$  – теплоемкость, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $a = \lambda/(c\rho)$  – температуропроводность, м<sup>2</sup>/с.

В общем случае дифференциальное уравнение теплопроводности имеет бесконечное семейство решений. Для получения единственного решения, необходимо задать условия в начальный момент времени, данные о геометрии, в частности, условия симметрии, о теплофизических свойствах материала, условия на границах тела, а иногда и другие замыкающие задачу сведения. На практике наиболее встречаются следующие граничные условия для процесса теплообмена:

*Граничные условия 1-ого рода (ГУ-1).* Они задаются распределением температуры на поверхности тела в виде функции координат и (или) времени (рис.1):  $T(x, y, z, \tau)|_{x, y, z = S} = f(x, y, z, \tau)$ .

*Граничные условия 2-ого рода (ГУ-2).* Они заданы распределением плотности теплового потока на поверхности тела как функция координат и (или) времени:

$$q_{\text{нов}} = -\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right)_s = f(x, y, z, \tau)|_s.$$

*Граничные условия 3-ого рода (ГУ-3).* При этом тепловой поток воспринимается поверхностью тела согласно уравнению Ньютона (рис.2):

$$-\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right)_s = \alpha (T(x, y, z, \tau)|_s - T_c)$$

*Граничные условия 4-ого рода (ГУ-4)* имеют вид:  $T_1(x, y, z, \tau)|_{x, y, z = S1} = T_2(x, y, z, \tau)|_{x, y, z = S2}$ ;

$$\lambda_1 \left( \frac{\partial T_1}{\partial n} \right)_{S1} = \lambda_2 \left( \frac{\partial T_2}{\partial n} \right)_{S2}.$$

Постановка краевых задач теплопроводности примерно представлена на рисунках ниже.

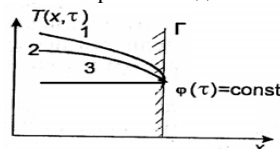


Рис. 1 Граничные условия первого рода: 1, 2, 3 – температуры в разные моменты времени, Г – граница тела.

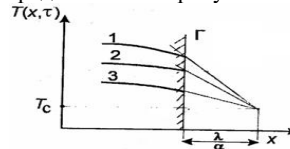


Рис. 2 Граничные условия третьего рода: 1, 2, 3 – температуры в разные моменты времени, Г – граница тела.



**Рис. 3 Визуализация решения параболического уравнения**

В результате решения конкретной задачи теплопроводности, ограниченной геометрией и теплофизическими свойствами тела, и условиями однозначности предположено получение графического решения данной задачи, как показано на рисунке 3.

Заключение. Для построения аналитических и численных решений дифференциальных уравнений в частных производных для задачи тепло – и массопереноса в нефтегазовой отрасли применяются основные методы [1-3]: метод преобразования Лапласа, метод функций Грина, метод разделения переменных (или метод Фурье) и другие методы интегральных преобразований. Поскольку на практике встречаются задачи гидродинамики и тепломассопереноса с разными условиями, то для каждого случая необходимо выбрать правильный и эффективный метод его решения.

#### Литература

1. Boris Baeumer, Mihály Kovács, Harish Sankaranarayanan. Fractional Partial Differential Equations with Boundary Conditions. Journal of Differential Equations, 9 October 2017.
2. Головкин Е. А. Приведение к каноническому виду линейных уравнений в частных производных второго порядка: методическое указание. – Иркутск, 2008 г.
3. Огородник А. С. Уравнения математической физики: учебное пособие. – 2- изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 96 с.

### ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВАЛА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

**В.В. Масальцев**

Научный руководитель – профессор А.К. Томилин

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

В нефтегазовом промысле, при заводнённых контурах нефтеносности через нагнетательные скважины, зачастую используются установки электроцентробежных насосов в качестве напорных агрегатов. Одной из важных причин выхода из строя подобного оборудования, работающего в условиях постоянного износа, являются вибрации. Вибрации – это резонансные колебания, достигаемые путем совпадения вынуждающих частот вращения вала насоса с частотой его собственных колебаний, которая зависит от материала, поперечного сечения, типа закрепления вала прочих условий. С точки зрения сохранения работоспособности и исправности оборудования следует избегать резонансных участков, которые могут если и не разрушить, то частично изогнуть вал, вследствие чего изменятся характеристики насоса. В данной работе рассматривается физическая модель вала насоса с учетом нахождения его в центробежном поле, рассматривается математическая модель вала, закрепленного с обеих сторон подшипниковыми опорами, решается реальная задача о нахождении резонансных частот вала насоса ЦНС-180 с использованием составленной математической модели.

Цель работы: исследовать поперечные колебания вала в поле центробежных сил.

Задачи:

1. Рассмотреть физическую модель гидродинамической вибрации центробежных насосов.
2. Построить математическую модель поперечных колебаний вала ЦНС
3. Предложить оригинальную математическую модель и построить ее решение.

В процессе эксплуатации насосы часто испытывают особый гидродинамический режим с последующей вибрацией всей конструкции. Это момент значительно осложняет эксплуатацию данных машинных агрегатов, так как это ведет к сокращению межремонтного периода насосов и повышению аварийности таких систем, в которых они используются [1].

Гидродинамическая вибрация у центробежных насосов, работающих на расчетных режимах, не представляет собой что-то особенное. Она встречается практически всегда, все насосы подвергаются ее воздействию без исключения, и она не вызывает опасности, так как часто принимается во внимание при разработке данных машин. Так же существуют довольно естественные конструктивные ограничения, не позволяющие обеспечивать насосным агрегатам в той же мере подходящие гидродинамические режимы во всем действительном диапазоне их подач – от нулевых значений до весьма больших. Подобные режимы работы насосов, не позволяющие возникать значительным вибрациям, конструктивно могут обеспечиваться только для довольно-таки малого интервала, учитывающего и именуемого рабочей зоной насоса [2].